

Eis als Baustoff in Permafrostregionen

Mahrenholtz, Oskar

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1992 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.105-107



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

OSKAR MAHRENHOLTZ, Hamburg

Eis als Baustoff in Permafrostregionen

Braunschweig, 17. Januar 1992*

In den letzten Jahren wurde in den Polargebieten intensiv nach Bodenschätzen, insbesondere nach Erdöl und Erdgas, gesucht. In Permafrostregionen kann Eis als Baustoff eingesetzt werden. Als Baustoff hat Eis hier viele Vorteile im Vergleich mit gewöhnlichen Materialien: Eis ist am Ort praktisch unbegrenzt verfügbar; eine Eisstruktur ist billig herzustellen und bringt bei der Demontage wenig Umweltbelastung mit sich. Seit langem dienen Eis und Schnee schon als Baustoff in den arktischen Gebieten: Eisdecken als Landepisten für Flugzeuge, Offshoreplattformen aus gespritztem Eis, Kühlhäuser aus Eis, usw. Bei solchen Eisstrukturen braucht man Prognosen über die Tragfähigkeit und das Langzeitverformungsverhalten. Dazu werden Kenntnisse über die mechanischen Eigenschaften von Eis benötigt.

Eis ist im Sinne seiner mechanischen Eigenschaften ein sehr komplexes Material. Weil der Baustoff Eis bei normaler Arbeitstemperatur im Vergleich zu Metallen eine extrem hohe homologe Temperatur hat, hängt sein mechanischer Charakter von mehreren Faktoren ab, wie der Dehnungs- bzw. Belastungsgeschwindigkeit, der Temperatur, der Aktivität der Mikrorisse und Mikroporen, der Korngröße und anderen. Darüber hinaus erschwert das gleichzeitige Auftreten von Sprödigkeit und Duktilität die Beschreibung des Verformungsverhaltens.

Unter schlagartiger Belastung ist Eis spröde. Aber wegen seiner Kriechneigung sind die Materialparameter temperatur- und zeitabhängig. Der Elastizitäts-Modul oder die Dehnungsrate können in einem breiten Bereich variieren. Der höchste Wert ist durch die Belastung bei sehr hoher Geschwindigkeit (bei der Geschwindigkeit elastischer Wellen) bestimmt worden. Der E-Modul ist im allgemeinen schwach temperaturabhängig.

Die Festigkeit von Eis ist die maximale Spannung, die beim Versuch, entweder bei konstanter Belastungsrate oder bei konstanter Verzerrungsrate, gemessen werden kann. Die Festigkeit von Eis ist stark temperatur- und belastungsratenabhängig: Je niedriger die Temperatur und je höher die Belastungsrate, umso höher ist die Festigkeit von Eis. Bei niedriger Belastungsrate zeigt Eis keinen wesentlichen Unterschied unter Zug- und Druckbelastung. Bei höherer Belastungsrate ist die Festigkeit von Eis unter Zugbelastung viel kleiner als die unter Druckbelastung.

Das Kriechverhalten von Eis unter konstanter Belastung ist in zwei unterschiedlichen Typen zusammenzufassen: Begrenztes Kriechen und unbegrenztes Kriechen. Unter niedriger Spannung ist das mechanische Verhalten von Eis durch das begrenzte Kriechen charakterisiert, in dem die Dehnungsgeschwindigkeit ständig abnimmt. Unter höherer Spannung ist die Kriechverformung unbegrenzt, wobei drei unter-

* Vortrag vor der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (Zusammenfassung).

schiedliche Kriechphasen zu erkennen sind. In der ersten Kriechphase, die als Primärkriechen oder Transientkriechen bezeichnet wird, nimmt die Kriechdehnungsgeschwindigkeit ständig ab. Das Sekundärkriechen wird auch als Stationärkriechen bezeichnet, weil in dieser Phase die Dehnungsgeschwindigkeit in einem bestimmten Zeitraum fast konstant bleibt. Die Tertiärperiode ist ein Beschleunigungsvorgang der Dehnungsgeschwindigkeit bis zum Kriechbruch. Unter noch größerer Spannung ist keine deutliche Sekundärkriechperiode zu erkennen. In diesem Fall schrumpft die Sekundärperiode zu einem Punkt mit Nullbeschleunigung der Dehnungsgeschwindigkeit oder der minimalen Dehnungsgeschwindigkeit.

Wegen der Besonderheit der mechanischen Eigenschaften von Eis verhält sich eine Eisstruktur unter Belastung mit hoher Geschwindigkeit ideal elastisch und unter statischer oder langsam veränderlicher Belastung duktil. In der Technik ist es wichtig, die Übergangsgrenze zwischen Kriechen und Spröbruch für eine Eisstruktur zu kennen.

Unter dynamischer Belastung kann das mechanische Verhalten einer Eisstruktur mit klassischer Elastizität studiert werden. Der Kriterium für die Belastungsgrenze ist mit Hilfe der linearen Bruchmechanik zu bestimmen. Dabei wird häufig die Belastung, bei der der erste Riß entsteht, als Grenzwert der zuverlässigen Belastung gewählt.

Unter statischer Belastung ist die Tragfähigkeit einer Eisstruktur durch die maximale erlaubte Verformung bestimmt. Zur Vorhersage der Verformung einer Eisstruktur muß man ein Stoffgesetz haben, das das dreidimensionale Primär-, Sekundär und Tertiärkriechen beschreiben kann. Bei den einschlägigen Forschungen kann man zwei Richtungen unterscheiden: Die Untersuchung auf der Basis der molekularen Mikrostrukturen und die phänomenologische Untersuchung mit Hilfe der Kontinuumsmechanik. Beide Forschungsrichtungen profitieren voneinander und sind gleich wichtig für die Eismechanik. In der Ingenieurtechnik haben aber nur phänomenologische Stoffgesetze Anwendungen gefunden, weil sie für die numerischen Berechnungen sehr praktisch sind, und bei ihnen können die benötigten Materialparameter durch einfache Versuche bestimmt werden.

Die Nachteile des Baustoffs – Eis – sind seine geringe Festigkeit, seine Spröbruchneigung und seine Kriechneigung. Viele Forscher haben versucht, die Tragfähigkeit von Eisstrukturen durch Verstärkung zu verbessern, so durch Einbringen verschiedener Materialien, z.B. Sägemehl, zerrissenes Zeitungspapier und Borkenfasern.

Vor kurzem wurde ein neuer auf Eis basierender Baustoff, sogenanntes ICE-CRETE, entwickelt. Es wird berichtet, daß durch die richtige Verstärkung die Festigkeit von Eis um das Vier- bis Fünffache gesteigert werden kann. Wichtig ist, daß die Spröbruchneigung durch die Verstärkung wesentlich verändert werden kann: eine richtig verstärkte Eisstruktur bricht nicht mehr plötzlich zusammen.

Auch die Kriecheigenschaft einer Eisstruktur kann durch Verstärkung wesentlich verbessert werden. Im Labor wurden Versuche mit verstärkten Eisplatten mit vier unterschiedlichen Verstärkungszusätzen getestet, nämlich Glasfasern, Holzmehl, Holzspänen bzw. einer Kombination von Glasfasern und Holzmehl. Das beste Resultat erzielte letztere. Im günstigsten Fall beträgt die Durchsenkungsgeschwindigkeit der verstärkten Eisplatten nur rund 25% der Durchsenkungsgeschwindigkeit der unverstärkten Eisplatte.

Eis als Kontinuum ist ein faszinierendes Thema, dem sich inzwischen mehrere Arbeitsgruppen widmen, auch unter dem Aspekt der Klimaveränderung. Diese Gruppen (Bochum (RUB), Darmstadt (THD), Hamburg (HSVA, TUHH)) haben inzwischen eine Arbeitsgemeinschaft gebildet, um so Synergieeffekte bei weiteren Untersuchungen zu nutzen.